

---

---

**XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica  
25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.**

---

---

## **Caracterización de la calidad del aire en la ciudad de Valencia: Un análisis basado en la interpolación espacial de contaminantes**

**A. Colsa Pérez<sup>a</sup>, H. González Lorenzo<sup>b</sup>, R. Cañada Torrecilla<sup>b\*</sup> y A. Moreno  
Jiménez<sup>b</sup>**

*<sup>a</sup>School of Natural Resources and Environment. University of Michigan Ann Arbor (MI), United States*

*<sup>b</sup>Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid*

---

### **Resumen**

Puesto que el aire es un recurso vital y que su degradación puede ocasionar daños a la salud y al medioambiente, evaluar la contaminación atmosférica de las ciudades se ha convertido en una prioridad según la Organización Mundial de la Salud (OMS). El objetivo de este trabajo ha sido determinar la calidad del aire en la ciudad de Valencia, estimando los patrones espaciales de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y de partículas en suspensión (PM<sub>10</sub>) y determinando qué zonas de la ciudad superan los límites legales nacionales e internacionales. Para ello se han realizado tratamientos de interpolación y visualización mediante el programa ArcGIS. Este trabajo representa un primer paso en la necesaria producción de más investigaciones sobre justicia ambiental en Europa, particularmente en España.

Palabras clave: contaminación urbana; medio ambiente; interpolación espacial; sistemas de información geográfica.

---

---

\* E-mail: rosa.canada@uam.es

## 1. Introducción

Procesos ligados con el crecimiento de grandes ciudades (e.g. industrialización, urbanización y tráfico) han provocado un importante incremento en la emisión a la atmósfera de contaminantes. Numerosos estudios han demostrado que la polución atmosférica está ligada a la aparición de problemas respiratorios (Pearce *et al.*, 2010). Un informe de la Comisión Europea (2006) concluyó que la contaminación atmosférica es responsable de más de 370.000 muertes prematuras al año en la Unión Europea. En respuesta, la Organización Mundial de la Salud (OMS) han identificado la evaluación de la contaminación atmosférica como una de sus prioridades (OMS, 2006).

En las últimas décadas, diversos estudios desarrollados desde la perspectiva de la justicia ambiental han demostrado cómo externalidades negativas en salud pública se distribuyen de manera desigual en el interior de las ciudades, afectando sobre todo a los grupos con menor estatus socioeconómico (e.g. Kingham *et al.*, 2007; Jerret *et al.*, 2004). Estos estudios han prestado especial atención al análisis de cómo las poblaciones más vulnerables son a menudo desproporcionadamente afectadas por la polución atmosférica (Moreno y Cañada, 2007).

El objetivo perseguido en este trabajo estriba en estudiar la calidad del aire en la ciudad de Valencia, utilizando como indicadores los niveles medios anuales de concentración atmosférica de determinados contaminantes. Específicamente se pretende establecer el patrón intraurbano de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y de partículas en suspensión con un diámetro inferior a 10 µm (PM<sub>10</sub>) y determinar qué zonas de la ciudad superan los umbrales establecidos por la legislación de la Unión Europea, nacional e internacional (OMS), para realizar después posibles recomendaciones.

La producción de NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> está relacionada con actividades humanas, en especial las relacionadas con el tráfico rodado. Altas concentraciones de ambos contaminantes están asociadas con afecciones pulmonares como inflamación de las vías aéreas, asma, incremento de reacciones alérgicas o incrementos de mortalidad por cáncer de pulmón (Mitchell y Dorling, 2003; OMS, 2006). Para PM<sub>10</sub> la legislación nacional y comunitaria establece una media anual de 40 µg/m<sup>3</sup> como el límite para la protección de la salud humana; sin embargo, la OMS sitúa ese umbral anual en 20 µg/m<sup>3</sup> (Cañada, Moreno y González, 2013; OMS, 2006). El nivel medio anual de NO<sub>2</sub> admisible por la legislación española, europea e internacional (OMS) se sitúa en 40 µg/m<sup>3</sup> (Ibíd.).

Estudiar la distribución espacial de los contaminantes conlleva muchas dificultades, derivadas del escaso número de estaciones de medición y de la desigual distribución espacial de las mismas, que dejan sin cubrir amplios espacios de la ciudad (Cañada, Moreno y González, 2013). Superar estas limitaciones requiere de herramientas de estimación que permitan una apreciación más completa de la calidad del aire (Mitchell & Norman, 2012).

## 2. Datos y metodología

### 2.1. El área de estudio y las fuentes de información

El ámbito de análisis se corresponde con la ciudad de Valencia (población 792.054 habitantes según INE), capital de la Comunidad Valenciana.

Los datos ambientales proceden de la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica (RVVCCA), dependiente de la Consejería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la

Generalitat Valenciana. El número de estaciones utilizadas ha sido 8, de las cuales tres se ubican en municipios limítrofes (figura 1).

Con la intención de medir, de la forma más exacta posible, la exposición potencial de la población a la polución atmosférica, se hace necesario identificar qué zonas del municipio deben constituir el ámbito de estudio (Moreno, 2013). Para medir la exposición potencial de la población a las condiciones del ambiente atmosférico, se utilizó como referente su domicilio habitual.

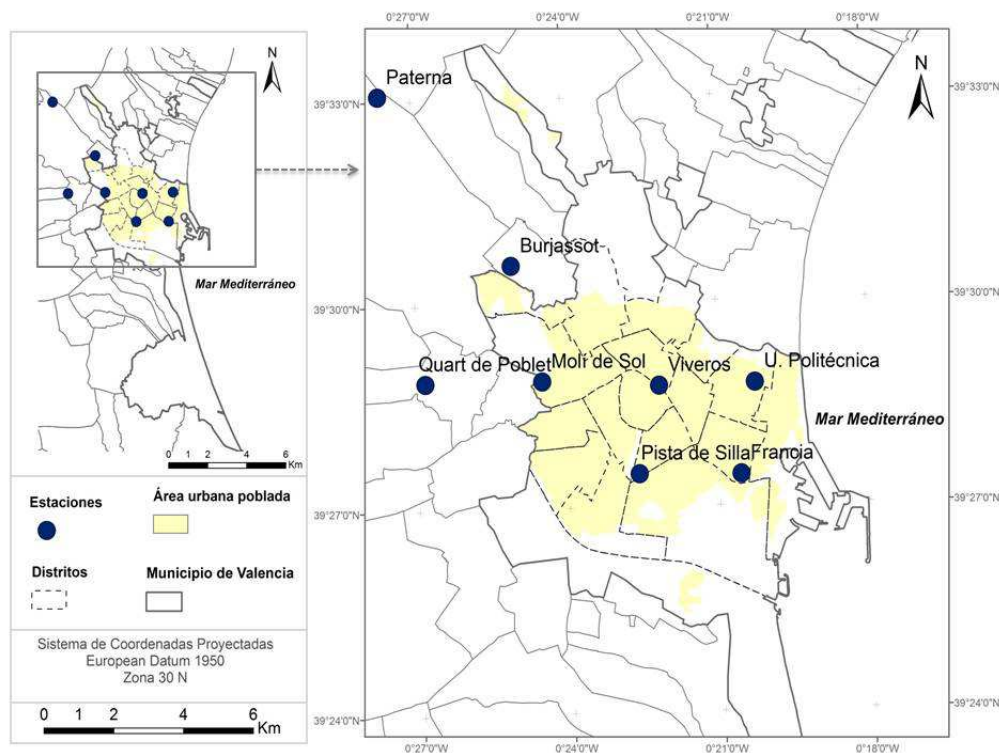


Fig. 1. Municipio de Valencia (izqda.), área de estudio y estaciones de medición de la contaminación urbana (dcha).

Para determinar el ámbito de estudio se excluyeron los usos no residenciales y no urbanizados del municipio, apoyándonos en el Corine Land Cover 2006, así como en ortoimágenes recientes. Esta tarea se realizó mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS). El área obtenida tras este proceso fue denominada área urbana poblada (AUP) y constituye el ámbito estricto de estudio.

La cartografía digital básica de partida ha sido la de divisiones administrativas de municipios, distritos y secciones censales del INE.

## 2.2. Metodología

Dado que los datos ambientales sólo se encontraban disponibles en un número reducido de estaciones, ha sido necesario aplicar técnicas de interpolación espacial para estimar la contaminación para toda la AUP. Para

tal fin se ha utilizado la extensión *Geostatistical Analyst* de ArcGIS 10.1. La metodología utilizada ha sido empleada con éxito en investigaciones anteriores (vid. Cañada *et al.*, 2013) y se desarrolla en varias etapas.

En una primera etapa se realiza el análisis exploratorio de los datos muestrales de contaminación. A partir de este procedimiento se obtienen las propiedades de centralidad, dispersión y forma de distribución de los datos observados de contaminación.

En una segunda etapa se estudian los aspectos relacionados con la autocorrelación espacial y direccional de los datos, a través de la construcción del semivariograma. Otro instrumento de exploración utilizado en esta etapa es el *Global Polynomial Interpolation* (GPI), con polinomios de primer y segundo grado.

En la tercera etapa del análisis se examinaron dos métodos de interpolación, el Kriging ordinario y la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW, *Inverse distance weighting*) (Cañada, 2007; Krivoruchko, 2011). Tras varios ensayos se determinó el empleo del segundo método atendiendo a criterios estadísticos convencionales como el error cuadrático medio (RMSE), y a otros geográficos de carácter más cualitativo como la coherencia del patrón espacial resultante con el marco territorial y la estructura urbana local. La capa interpolada resultante se exportó a raster con una resolución de 50 metros por píxel y posteriormente se recortó para ajustarla al AUP. Los datos estimados fueron también sintetizados por distritos municipales para facilitar su valoración por los gobiernos competentes.

### 3. Resultados

#### 3.1. Análisis del dióxido de nitrógeno en la ciudad de Valencia

##### *Comparación entre datos observados y pronosticados*

En la tabla 1 se muestran los estadísticos descriptivos de los valores anuales de NO<sub>2</sub> del 2010 para Valencia. La concentración atmosférica de NO<sub>2</sub> en la zona urbana poblada de Valencia para 2010 arroja un promedio de 33,34 µg/m<sup>3</sup>. El nivel máximo se registró en “Pista de Silla” (44,6 µg/m<sup>3</sup>), localizada al sur de la ciudad. El valor mínimo lo anotó Paterna (21,1 µg/m<sup>3</sup>), estación de medición limítrofe al municipio de Valencia. La comparación de los datos observados con aquellos pronosticados por la capa interpolada indica que la interpolación se acerca bastante a los datos medidos por las estaciones de monitorización de la calidad del aire, especialmente si atendemos a las medias y los valores máximos.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los datos observados y pronosticados de NO<sub>2</sub> en Valencia 2010 (µg/m<sup>3</sup>)

|                   | DATOS OBSERVADOS | DATOS PRONOSTICADOS |
|-------------------|------------------|---------------------|
| Mínimo            | 21,1             | 23,57               |
| Máximo            | 44,6             | 44,38               |
| Media             | 33,34            | 33,04               |
| Desviación típica | 6,09             | 3,61                |

### Descripción del patrón espacial estimado del dióxido de nitrógeno

Aunque la media anual de  $\text{NO}_2$  se encuentra por debajo del valor crítico de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  marcado por la OMS, el mapa interpolado (figura 2) permite comprobar la existencia de un claro gradiente sur-norte. La mitad sur del AUP presenta valores superiores a  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , existiendo incluso una pequeña superficie al sur de la estación de trenes de la ciudad (3,81% del AUP) que registraría una media anual por encima de los  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La mitad de la ciudad, al norte de la Avinguda del Cid - Avinguda del Regne de València, presenta valores por debajo de los  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  anuales (43% del AUP).

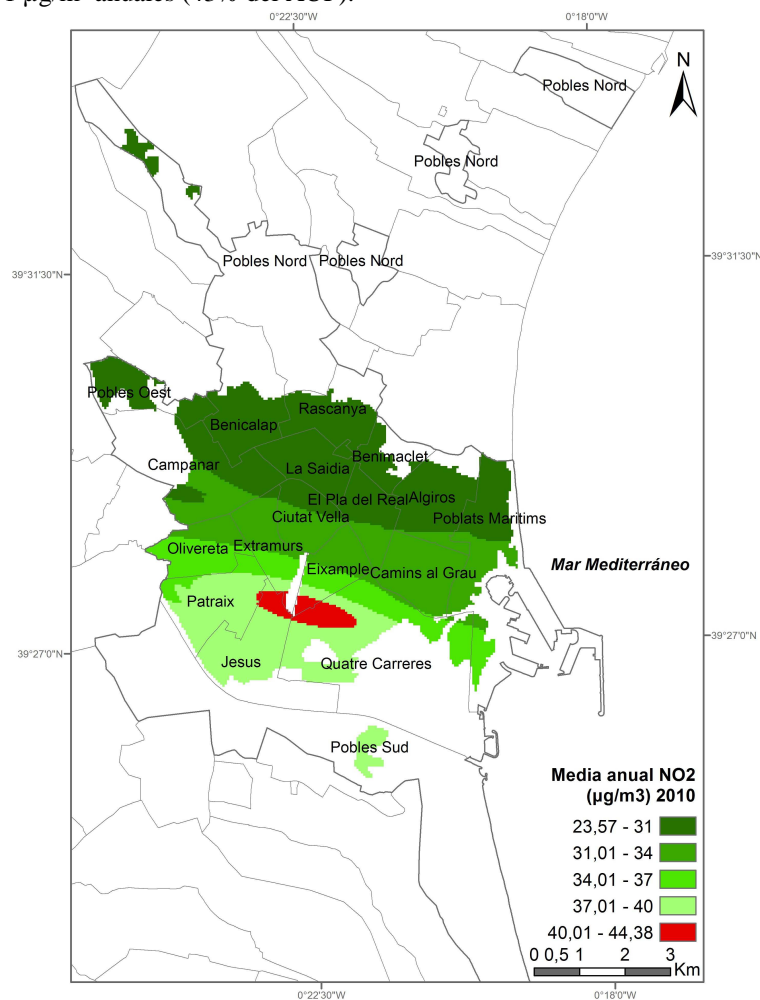


Fig. 2. Patrón espacial de la contaminación por  $\text{NO}_2$ , Valencia 2010.

### Análisis de las diferencias de $\text{NO}_2$ entre distritos

La concentración media de  $\text{NO}_2$  por distritos en el municipio de Valencia (figura 3) muestra también un claro gradiente N-S. Los distritos del norte, en color verde intenso, son los menos contaminados; mientras que

los distritos de la mitad sur, con un tono verde claro, presentarían promedios anuales más altos de este contaminante.

El distrito con menor concentración media (entre 24,11 y 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) corresponde al distrito fragmentado de Pobles Nord, mientras que los distritos de Patraix, Jesús, Quatre Carreres y Pobles Sud presentan la concentración media anual más alta (entre 36,01 y 38,63  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Estos valores se deben relacionar con la importante intensidad del tráfico (entre 4000 y 6000 vehículos por hora aproximadamente, según fuentes del Ayuntamiento de Valencia) en vías como la Avinguda de Pérez Galdós (Patraix), la Avinguda Giorgeta (Jesús) y la N-322 (Quatre Carreres y Pobles Sud).

Aunque la superficie interpolada de  $\text{NO}_2$  muestra valores por encima del valor límite para la protección de la salud humana establecido por la legislación nacional, comunitaria e internacional (OMS) de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , su reparto por distritos no lo refleja, al promediarse los valores de los píxeles de un mismo distrito. Esta cuestión muestra el importante papel que juegan las escalas de análisis en el estudio de fenómenos geográficos.

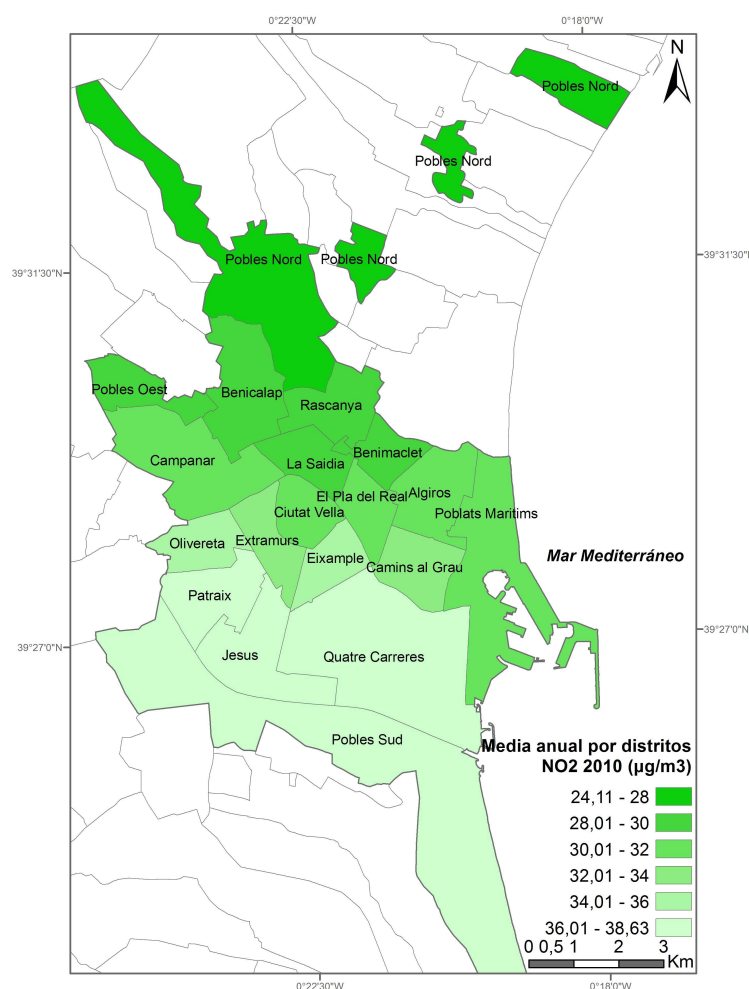


Fig. 3. Media anual de NO<sub>2</sub> por distritos, Valencia 2010

### 3.2. Análisis de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub>

#### *Comparación entre datos observados y pronosticados*

La tabla 2 muestra los estadísticos descriptivos de PM<sub>10</sub> del conjunto de estaciones de contaminación de la ciudad de Valencia en 2010. El promedio anual de los datos observados anuales es de 20,94 µg/m<sup>3</sup>, cifra que cumple con la normativa nacional y comunitaria pero es superior al umbral que recomienda la OMS (20µg/m<sup>3</sup>). El valor más alto vuelve a coincidir con la estación “Pista de Silla” (31,1 µg/m<sup>3</sup>), mientras que el nivel más bajo es registrado en “França” (14,1 µg/m<sup>3</sup>). Al igual que en el caso del NO<sub>2</sub>, la comparación entre datos observados y datos pronosticados de PM<sub>10</sub> refleja satisfactorios resultados tras la interpolación de los datos de polución recogidos en las estaciones de calidad del aire.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de los datos observados y pronosticados de PM10 en Valencia 2010 (µg/m3)

|                   | DATOS OBSERVADOS | DATOS PRONOSTICADOS |
|-------------------|------------------|---------------------|
| Mínimo            | 14,1             | 14,13               |
| Máximo            | 31,1             | 30,83               |
| Media             | 20,94            | 21,77               |
| Desviación típica | 4,7              | 1,91                |

#### *El patrón espacial de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub>*

El patrón espacial de las PM<sub>10</sub> (figura 4) muestra que la mayor parte del ámbito de estudio (93,3% del AUP) registra medias superiores al umbral de 20 µg/m<sup>3</sup>, límite recomendado por la OMS. Todo el ámbito central de la mitad sur de la ciudad, especialmente la zona comprendida entre la Avinguda de les Tres Creus y la Avinguda del Regne de València, presentan valores por encima de 25 µg/m<sup>3</sup> (21,27% del AUP). Concentraciones anuales admisibles (por debajo de 20 µg/m<sup>3</sup>) tienen una localización eminentemente periférica y reducida (6,17% del AUP). Sin embargo, si se aplica la legislación nacional y europea, el análisis de resultados arrojaría que ningún sector de la ciudad de Valencia supera el umbral marcado por el estándar (40 µg/m<sup>3</sup>).

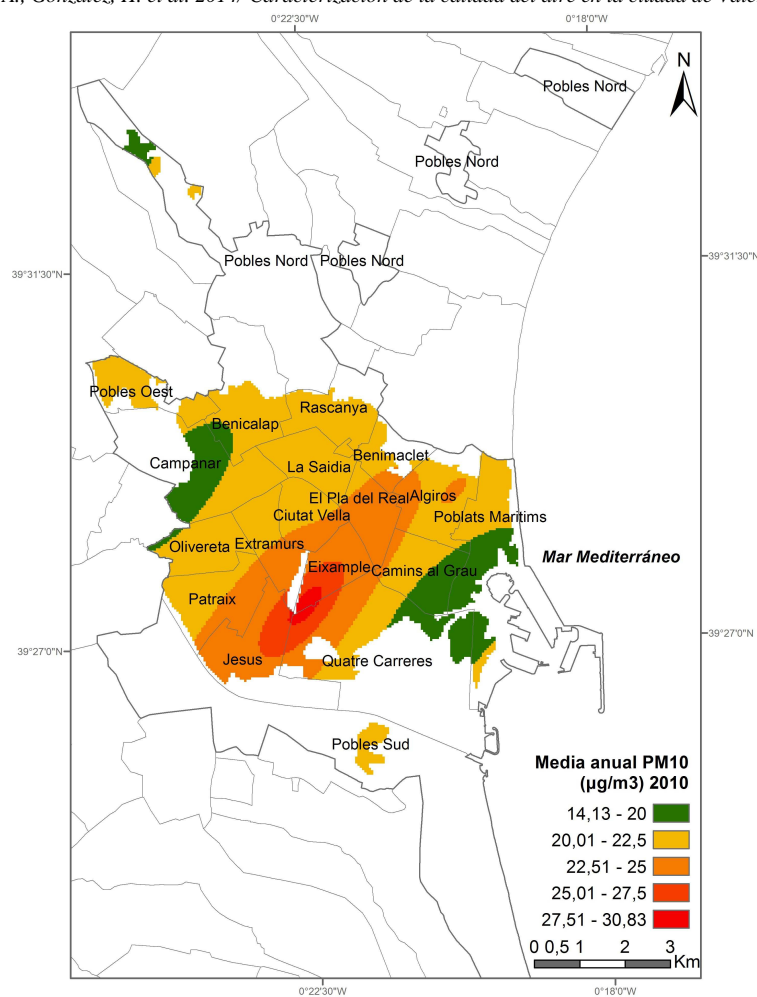


Fig. 4. Patrón espacial de la contaminación por PM<sub>10</sub>, Valencia 2010

#### Análisis de las diferencias de PM<sub>10</sub> por distritos

El patrón de polución urbana estimada de PM<sub>10</sub> por distritos es sensiblemente diferente al de NO<sub>2</sub>. En este caso, los distritos que presentan valores medios anuales más elevados (color rojo en el mapa) son los situados en el centro de la ciudad, Eixample y Jesús (figura 5); mientras que el único distrito que presenta un valor medio anual inferior al umbral límite establecido por la OMS (20 µg/m<sup>3</sup>) es Poblats Marítims (color verde), situado al este de la ciudad junto al Mar Mediterráneo.



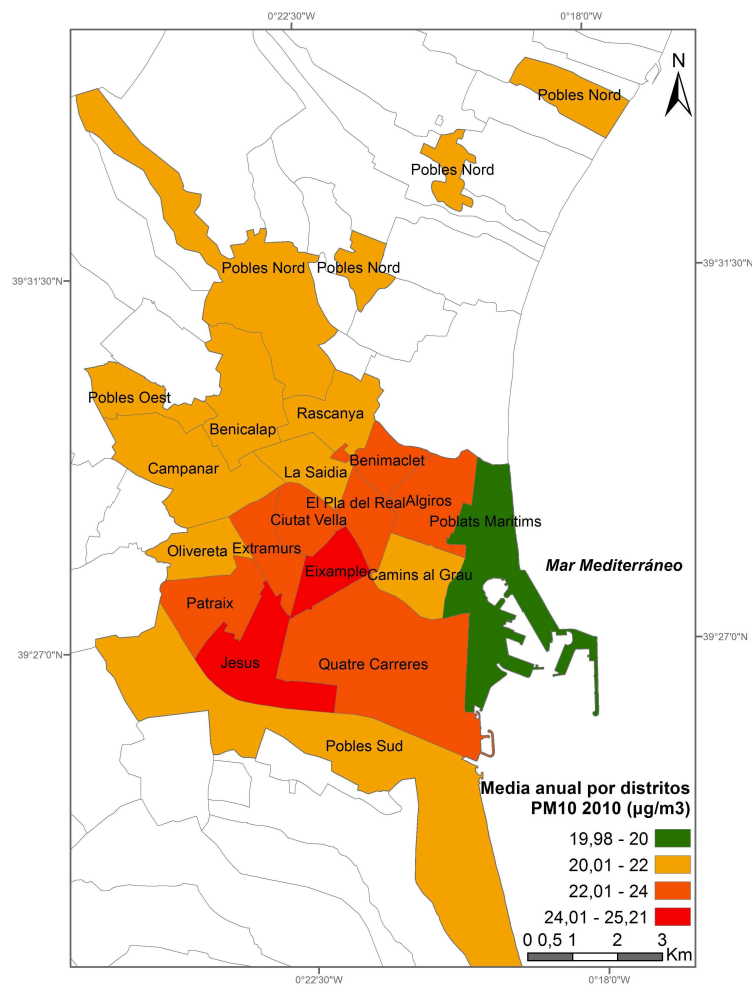


Fig. 5. Media anual de  $PM_{10}$  por distritos, Valencia 2010

Lo mismo que sucedía con el  $NO_2$ , el reparto de medias al promediarse los valores de los píxeles por distritos varía con los datos de la capa interpolada. Sin embargo, en el caso del análisis de las  $PM_{10}$ , la mayoría de las medias siguen estando por encima de la legislación internacional.

#### 4. Conclusiones

Este estudio ha estimado la distribución de la contaminación atmosférica en espacios donde no se tienen mediciones. Aplicando técnicas de interpolación espacial sobre una muestra de ocho estaciones de medición de la contaminación, se han podido obtener los patrones intraurbanos de la distribución de  $NO_2$  y  $PM_{10}$  en la ciudad de Valencia.

En cuanto a los resultados arrojados por el estudio, existen importantes espacios dentro del área urbana poblada de Valencia donde se sobrepasan los umbrales para la protección de la salud humana establecido por

la legislación de la OMS por contaminación por dióxido de nitrógeno y partículas en suspensión. Estos resultados coinciden con estudios similares realizados en otras ciudades españolas como Madrid (Moreno, 2013), Barcelona (Cañada, Moreno y González, 2013) y Sevilla.

Estos resultados sobre la calidad del aire de la ciudad de Valencia, con una resolución de 50 metros cuadrados, permitirán la realización de futuros estudios en el área de justicia ambiental para comprobar si existen asociaciones entre la localización de áreas sobre-expuestas a contaminación y concentración de poblaciones vulnerables. Además, la descripción de resultados por distritos permitirá a las autoridades públicas competentes una fácil identificación de zonas que requieren acción política para corregir las desigualdades ambientales en la distribución de la polución atmosférica.

Como limitaciones al estudio cabe destacar la dificultad de generar una estimación real de la distribución geográfica de contaminantes atmosféricos cuando se disponen de escasas estaciones de medida (solo ocho en Valencia). Sin embargo, las herramientas de análisis aquí utilizadas han permitido avanzar en una caracterización más completa de cómo la contaminación ambiental se distribuye en el ambiente urbano.

Finalmente procede insistir en que la justicia ambiental es un elemento fundamental a incorporar en las estrategias urbanas de desarrollo sostenible. Trabajos como el aquí presentado suponen un primer y obligado paso en el proceso de evaluación de las injusticias ambientales en las ciudades españolas.

## Agradecimientos

Esta aportación se ha elaborado dentro del proyecto de investigación “Contaminación atmosférica urbana y justicia ambiental: metodología de evaluación y estudio de casos con sistemas de información geográfica”, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España, referencia CSO2011-26177.

## Referencias

- Cañada Torrecilla, R. (2007). Análisis Geoestadístico. In Moreno Jiménez, A. (Coord.), *Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS* (pp. 755-878). Madrid: Ra-Ma.
- Cañada, R., Moreno, A. & González, H. (2013). Estimación de la contaminación atmosférica urbana mediante interpolación espacial. Un experimento metodológico. In XXIII Congreso de Geógrafos Españoles AGE Espacios insulares y de frontera, una visión geográfica (pp. 307-318). Mallorca: AGE y Dept. de Ciències de la Terra, UIB.
- Comisión Europea (2006). Environmental fact sheet: moving towards clean air for Europe. European Commission. Acceso online: <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/air.pdf>
- Jerret, M., Burnett, R.T., Brook, J., Kanaroglou, P., Giovis, C., Finkelstein, N. & Hutchison, B. (2004). Do socioeconomic characteristics modify the short term associations between air pollution and mortality? Evidence from a zonal time series in Hamilton, Canada. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 58, 31-40.
- Kingham, S., Pearce, J. & Zavar-reza, P. (2007). Driven to injustice? Environmental justice and vehicle pollution in Christchurch, New Zealand. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 12, 254-263.
- Krivoruchko, K. (2011). *Spatial Statistical Data Analysis for GIS Users* (DVD-ROM). Esri Press.
- Mitchell, G. & Norman, P. (2012). Longitudinal environmental justice analysis: Co-evolution of environmental quality and deprivation in England, 1960-2007. *Geoforum*, 43(1), 44-57.
- Mitchell, G. & Dorling, D. (2003). An environmental justice analysis of British air quality. *Environment and Planning A*, 25, 909-929.
- Moreno Jiménez, A. (2013). Población y polución atmosférica intraurbana por dióxido de nitrógeno en Madrid: análisis desde la justicia ambiental basado en sistemas de información geográfica. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 52(2), 84-107.
- Moreno Jiménez, A. & Cañada Torrecilla, R. (2007). Justicia ambiental y contaminación atmosférica por dióxido de azufre en Madrid: análisis espacio-temporal y valoración con sistemas de información geográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 44, 301-324.

- O.M.S. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización Mundial 2005. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Pearce, J.R., Richardson, E.A., Mitchell, R.J. & Shortt, N.K. (2010). Environmental justice and health: the implications of the socio-spatial distribution of multiple environmental deprivation for health inequalities in the United Kingdom. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 35, 522-539.